

PUBLICATION NUMBER : 04095879
 PUBLICATION DATE : 27-03-92

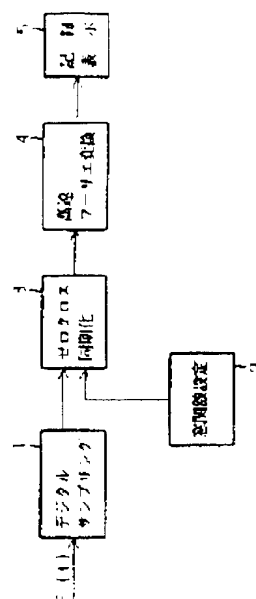
APPLICATION DATE : 10-08-90
 APPLICATION NUMBER : 02213292

APPLICANT : NISSHIN STEEL CO LTD;

INVENTOR : IWASAKI KUNIHICO;

INT.CL. : G01R 23/16 G01H 5/00

TITLE : FREQUENCY SPECTRUM ANALYSIS
 METHOD AND DEVICE OF
 OSCILLATORY WAVE BY ZERO
 CROSS SYNCHRONIZATION



ABSTRACT : PURPOSE: To make possible Fourier transform in the form near an original wave shape by making a zero cross synchronization of the Fourier transform and window function, minimizing the strain of an oscillatory wave without productive the gap on a joint.

CONSTITUTION: An oscillatory input wave is sampled with the use of a digital sampling means 1 to obtain sampled data. In regard to the sampled data at the time when a zero cross is performed with the use of a zero cross synchronization means 3, a window function from a window function setting means 2 is synchronized to multiply. A frequency spectrum is calculated to find with the use of a fast Fourier transform means 4 by a computer on the basis of the data to record and show on a record display 5. As the result, when the zero cross synchronization 3 is performed, the oscillatory wave form part intended for the Fourier transform does not cause a gap in a joint even if it is repeatedly welded. Accordingly, a Fourier transform-oriented wave form is lessened to distort for the original wave form and the generation of an additional frequency component of the frequency spectrum can be reduced.

COPYRIGHT: (C)1992,JPO&Japio

THIS PAGE BLANK (USPTO)

BLANK (USPTO)

⑪ 特許出願公開

平4-95879

④③公開 平成4年(1992)3月27日

9114-2G
8117-2G

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全7頁)

②出願平2(1990)8月10日

⑦出 願 人 日 新 製 鋼 株 式 会 社 東 京 都 千 代 田 区 丸 の 内 3 丁 目 4 番 1 号
⑧代 理 人 弁 理 士 小 橋 信 淳 外 1 名

クロス点としたことを特徴とする振動波の周波数スペクトル分析方法。

ゼロクロス同期化による振動波の周波数
スペクトル分析方法及び装置

(4) 振動波信号のデジタルサンプリング手段と、窓関数設定手段と、前記サンプリング手段からのゼロクロス点のデータに窓関数の始点と終点を対応させて前記サンプリング手段からのデータに窓関数を乗算する手段と、この手段の出力データにตอบสนองし周波数スペクトルを導出する高速フーリエ変換手段とを備えたことを特徴とする振動波の周波数スペクトル分析装置。

(1) 高速フーリエ変換 (FFT) による振動波の周波数スペクトル分析方法において、振動波と窓関数をゼロクロス同期化してフーリエ変換を行うことを特徴とするゼロクロス同期化による振動波の周波数スペクトル分析方法。

(2) 高速フーリエ変換による振動波の周波数スペクトル解析方法において、振動波のサンプリングデータにおけるゼロ値近傍の正、負二つのデータのうち絶対値の小さいデータのサンプリング時点に窓関数を同期させてフーリエ変換を行うことを特徴とするゼロクロス同期化による振動波の周波数スペクトル解析方法。

(3) 高速フーリエ変換による振動波の周波数スペクトル解析方法において、フーリエ変換の対象とする振動の波形の始点と終点を同波形のゼロ

〔産業上の利用分野〕

本発明は、振動波のフーリエ変換による周波数スペクトル分析方法及び装置に関する。

〔従来の技術〕

振動波の周波数スペクトルにあっては、高速フーリエ変換によるものが既に広く実施されている。

フーリエ変換による振動波の解析では、時間軸の現象を周波数軸の現象に変換する、つまり、振動振幅の時間的変化を測定し、その周波数成分の

分布を得る。振動波には時間的に無限に続くもの、単発的なもの等いろいろあり、測定時間をそれらに完全に合わせることはできない。そのため実際は、第1図Aに示したように時間軸の振動入力波 $F(t)$ の一部分のみ、即ち時刻 t_1 から t_2 までの部分をサンプリングする。サンプリングは一定の周期でデジタルに行われ、フーリエ変換はデジタルコンピュータを用いて行われる。サンプリングデータ数は、フーリエ変換のアルゴリズムの関係から通常は 2^n (n = 自然数) の値をとる。

フーリエ変換では、数学的取扱いの関係からサンプリングした入力波をデータ採取期間 $t_2 - t_1$ を周期とする周期関数とみなし、同じ振動波形が第1図Bに示すように無限に繰返されるものと仮定する。つまり、サンプリングの始点 t_1 と終点 t_2 は時間軸では同じ意味をもつ点になる。

〔発明が解決しようとする課題〕

しかし、一般には

$$F(t_1) \neq F(t_2)$$

であるため、接合部に

かし、両端での窓関数の値を0に近づければ近づけるほど、接合部のギャップは小さくなるが、図に示す通り、振幅は両端に向かって減衰し、原波形が大きく歪められる。

本発明は、振動波形のフーリエ変換に際し、接合部のギャップが発生せず、振動波の歪がなるべく小さく原波形に近い形でフーリエ変換を行うようにした振動波の周波数スペクトル分析方法及び装置を提供することを目的とする。

〔課題を解決するための手段〕

上記目的を達成するために、本発明の周波数スペクトル分析方法及び装置にあっては、フーリエ変換と窓関数をゼロクロス同期化させてフーリエ変換を行うことを特徴とする。

〔作用〕

ゼロクロス同期化により、フーリエ変換の対象となる振動波形部分は、繰返し接合されても接合部にギャップは生じない。したがって、両端で0になる度合の小さい窓関数を使用でき、フーリエ変換の対象となる波形が原波形に対し歪められる

$$F(t_2) - F(t_1)$$

のギャップが生じることになる。このため、接合部で振動振幅は垂直に立ち上がって或いは立ち下がっており、これは非常に高い周波数成分をもつ波形に対応する。この結果、実際には存在しない高周波成分が入力波に混ざっているように数学的には解釈されてしまう。このため、このままフーリエ変換すると、得られる周波数スペクトルに実際に存在しない高周波成分が現れることになる。

かかる現象を防ぐために、一般には、第1図Cに示すような適当な窓関数 $W(t)$ を設定し、窓関数 $W(t)$ を原波形に掛け合わせる手法が用いられている。窓関数としては、ディリクレ、ハミング、ハンニング等いろいろなものが提案されている。接合部のギャップを小さくするために、始点及び終点で0(ゼロ)に近い値をとり、中央付近で1の値をとる山型のものが一般に用いられている。

第1図Cに示した例はハンニング窓関数であり、中央で1、両端で0になっているものである。し

ことが少なくなる。したがって、周波数スペクトルにおけるフーリエ変換の実施に伴う付加的な周波数成分の発生を減らすこととなる。

〔実施例〕

第2図は、本発明の実施例を示すブロック図である。1は振動入力波 $F(t)$ が導入されるデジタルサンプリング手段であって、サンプリング回路、アナログ・デジタル変換回路を有し、第3図の時刻 t_1 から t_2 の期間における入力波をサンプリングし、デジタルサンプリング・データを得るものである。

2は窓関数設定手段、3はゼロクロス同期化手段であり、サンプリング入力した入力波形 $F(t)$ が最初及び最後にマイナス側からプラス側の方向で(その逆でもよいが、始点及び終点とも同じ方向をとる)0を切る、即ちゼロクロスする時点 t_1 から t_2 のサンプリングデータについて窓関数を同期させて掛け合わせるものである。

実際は、デジタルサンプリングしているので $F(t) = 0$ のサンプリングデータ点が必ずし



特開平4-95879 (3)

も存在するわけではない。その場合、マイナス側とプラス側の0点近傍の二つのデータ点のうち、 $|F(t)|$ が小さい方をとり、時点 t_1 、及び t_2 を決定する。

ゼロクロス同期化手段3からのデータに基づき、コンピュータによる高速フーリエ変換手段4で周波数スペクトルを計算導出し、記録表示装置5に記録、表示する。従来のフーリエ変換法にあっては、 $(t_0 \sim t_1)$ を周期とする周期関数として変換を行っていたが、本発明の実施例では、サンプリングされたデータのうち $t_1 \sim t_2$ 、 $t_2 \sim t_3$ 間のデータは用いず、 t_1 より t_2 までのデータのみを用いて $t_1 \sim t_2$ を周期とする周期関数としてフーリエ変換を行う。

第1図と同じ入力波を本発明の方法で周期関数化したものが第3図Bである。この場合、窓関数を用いていないが、これは時点 t_1 から t_2 までの入力波に対してのみ1を乗算する箱型のディリクレ窓関数を適用した場合に相当する。入力波と窓関数がゼロクロス同期化しているため、当然接

合部でのギャップは発生しない。しかし、時点 t_1 、及び t_2 において一般には微分係数が異なるため、微分係数にはギャップが残る。しかし、適当な窓関数を用いることによりその影響を小さくすることができる。また、窓関数を使う場合でも、両端で0にする度合を少なくすることができる。そのため、原波形の歪みは小さくなる。

データサンプリングの時点でゼロクロストリガーをかければ、本発明によらずともよいように受け取られる。しかし、一般にはサンプリング周波数と入力波の周波数とは整数比関係にないため、始点でゼロクロスさせても、終点ではそうならない。したがって、少なくとも終点については前述の決定法を用いる必要がある。また、入力波の最初と最後の一部を捨てるため、トリガリングの影響を避ける効果も期待できる。

従来の変換法及び本発明の変換法について、関数発生器を用いて発生させた約4.40 Hzの入力波に対するフーリエ変換の結果を第4図～第8図に示す。サンプリング周波数は50 kHz、デー

タ数は1024である。各図ともAは従来法、Bは本発明によるもので、上から一段目が原波形、二段目が窓関数とそれを原波形に掛け合わせた結果、三段目がフーリエ変換のパワースペクトル、四段目がパワースペクトルの実数部(上半分)と虚数部(下半分)を示す。縦軸は、全て基準化してある。

第4図～第6図は、入力波が正弦波であって、3種の窓関数を適用し比較を行った結果を示す。第4図は、両端で完全に0になるハニング窓関数を使ったものである。この場合、窓関数の性質から接合によるギャップの影響はなく、従来法、本発明法とも同ようなスペクトルが現れる。しかし、本発明による方がシャープなピークを示している。ピーク位置(図中△または▽で表示)は、両者共入力波の周波数と一致している。

第5図は、ハニング窓関数と形は似ているが、両端で完全には0にならないハミング窓関数を用いた場合である。この場合、接合部の影響がでるため、従来法では高周波側にかなり尾を引くよう

になる。これに対し、本発明による場合は、きれいでシャープなピークが得られている。

第6図は、窓部分で1、その外側では0になる箱型のディリクレ窓関数を使用し、窓関数によるデータの補正をしない場合であり、接合部のギャップはそのまま残る。このため、従来法では実際には存在しない高周波成分が現れ、多数の高周波成分を含む連続スペクトルとなる。これに対し、本発明によるものでは、裾野が少し広がる程度で、シャープなピークを示している。

以上のように、正弦波に対しゼロクロス同期化をすることにより、周波数スペクトルは大幅に改善される。ディリクレ窓関数を用いた場合に特にその効果をはっきり示す。第7図及び第8図は、ディリクレ窓関数を用いて三角波、疑似三角波に対し同様の比較を行った結果を示す。何れの場合も、従来法では多数の高周波成分が現れ、殆ど連続スペクトルになってしまうため、三角波特有の飛び飛びの高周波成分が埋もれて検出し難い。しかし、本発明によるものでは、そのような連続ス

特開平4-95879 (4)

ベクトルが消えるため、非常にシャープな形で3角波の高周波成分がはっきり観察される。

本発明を固体材料の欠陥検出に適用した結果を、第9図及び第10図に示す。これらは、マイクロハンマーでアルミナ板を励振し、そのとき発生する振動を測定したものである。

第9図は無傷の試料に対する結果、第10図は無傷の試料をバーナーで加熱、急冷することにより細かいひび割れを導入したものに對する結果を示す。各図のA、Bはそれぞれ従来のフーリエ変換法によるものと、本発明によるものである。この場合、時間と共に振幅は自由減衰するが、ディリクレ窓関数を使用しているため減衰は原波形のまま再現されている。

原波形では傷の有無による差が殆ど分らないが、周波数スペクトルをとるとその差が明瞭となる。たとえば、本発明による第9図B、第10図Bの周波数スペクトルを比較すると、傷のある場合には、傷のない場合には見られない付加的な高周波成分が17.5kHzと21.1kHzにはつき

りと生じている。このような付加的成分の検出により、傷の有無が非破壊状態で検出できる。

しかし、従来の方法で得られた第9図、第10図の各Aでは、高周波側に不要成分が多数存在し、このような判定が困難である。第9図Aでは17.5kHzのピークは検出できるが、21.1kHzのピークは殆どバックグラウンドに埋もれてしまっている。本発明によれば、不要な高周波成分の抑制が実用上も非常に有効であることがはっきり示されている。

〔発明の効果〕

以上説明したように、本発明は、高速フーリエ変換による周波数スペクトル分析に際し、被分析振動波と窓関数をゼロクロス同期化してフーリエ変換を行うことに伴い、振動波形の接合部にギャップが発生せず、原波形に最も近い形でフーリエ変換が実施できる。そのため、周波数スペクトルに実際には存在しない付加的な周波数成分が生ずることがなく、振動波固有の周波数成分の分析が可能となり、周波数スペクトルが従来法に比べ格

段に改善される。箱型のディリクレ窓関数を使用するとき、その効果は当然のことながら著しい。このことは、窓関数が不要であることを示しているように見えるが、実際に観測される波形はいくつかの例に示したようなきれいなものばかりではなく、微分係数のギャップは残るため、一般には適当な窓関数の使用が妥当である。しかし、どのような窓関数を使うにしても、ゼロクロス同期化により周波数スペクトルの大幅な改善が行える。

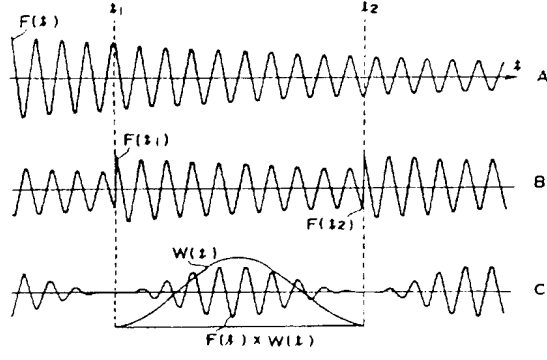
4. 図面の簡単な説明

第1図は従来のフーリエ変換法についての波形図、第2図は本発明の実施例についてのブロック図、第3図は本発明の実施例による波形図、第4、5、6図は正弦波入力に対しそれぞれハニング、ハミング、ディリクレ窓関数を適用した場合の波形及び周波数スペクトル図、第7図は3角波入力に対しディリクレ窓関数を適用した場合の波形及び周波数スペクトル図、第8図は疑似3角波入力に対しディリクレ窓関数を適用した場合の波形及び周波数スペクトル図、第9図は無傷アルミ

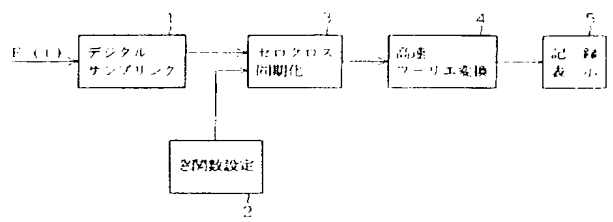
ナ板を振動させたときの波形及び周波数スペクトル図、第10図は傷有りアルミナ板を振動させたときの波形及び周波数スペクトル図である。

- 1：デジタルサンプリング手段
- 2：窓関数設定手段
- 3：ゼロクロス同期化手段
- 4：高速フーリエ変換手段
- 5：記録表示装置

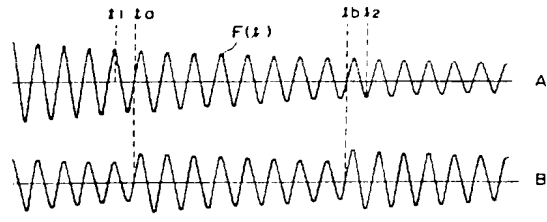
第 1 図



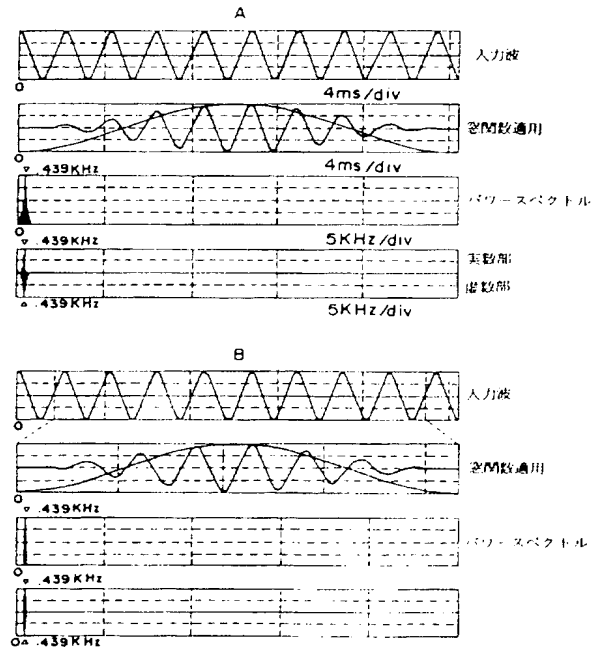
第 2 図



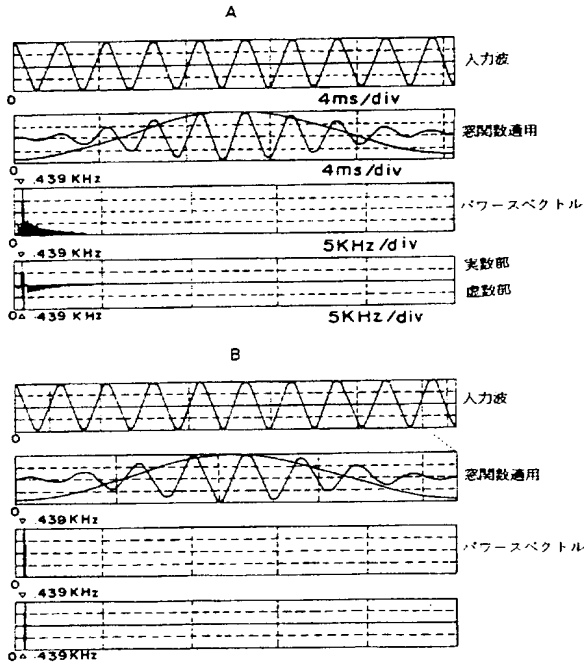
第 3 図



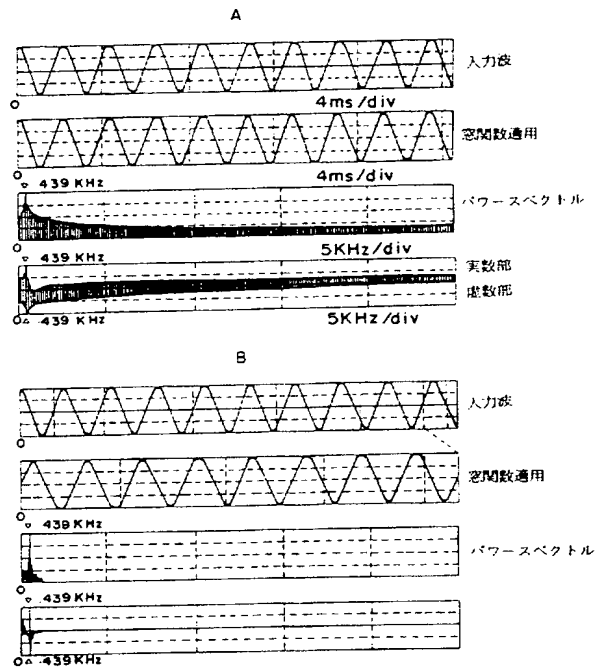
第 4 図



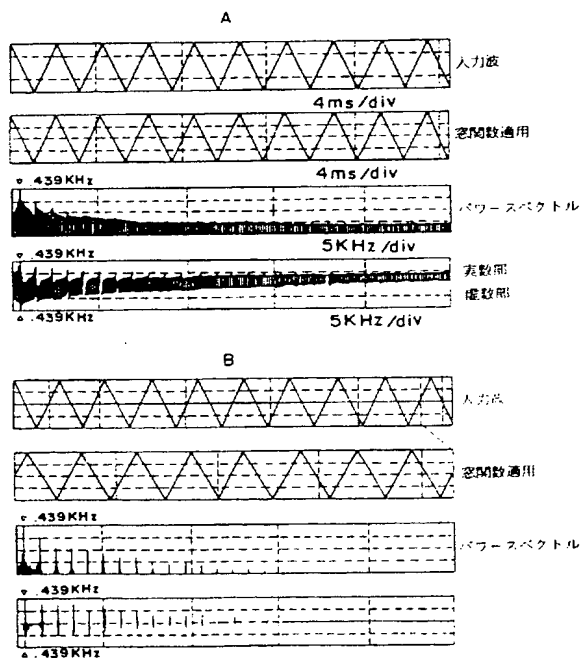
第 5 図



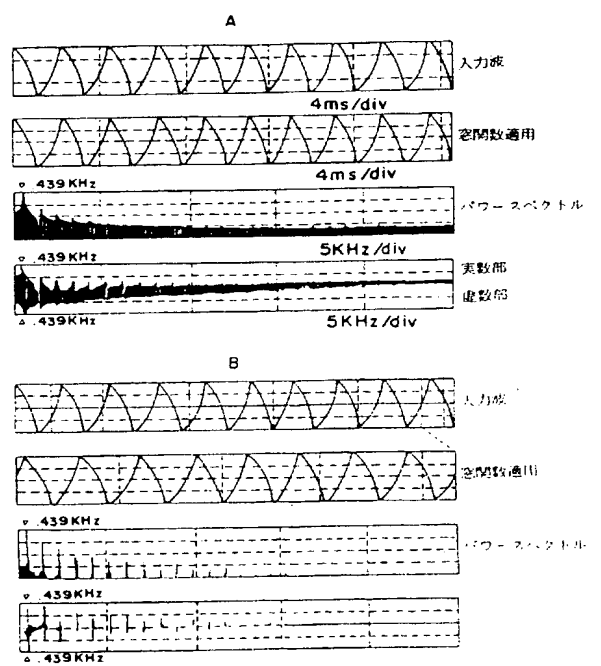
第 6 図



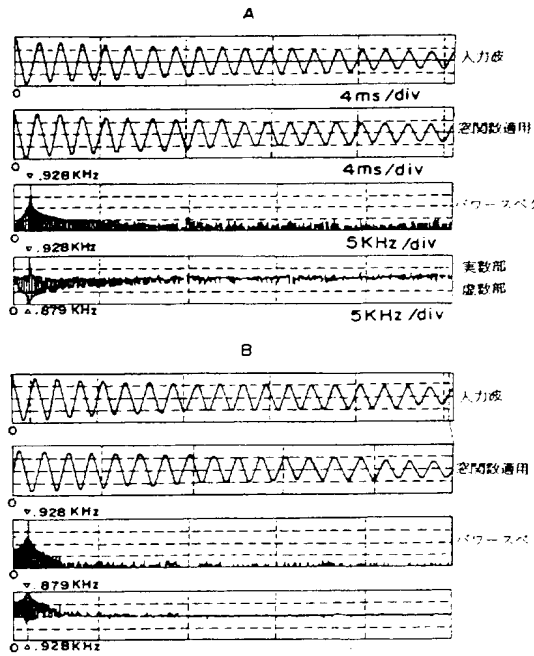
第 7 図



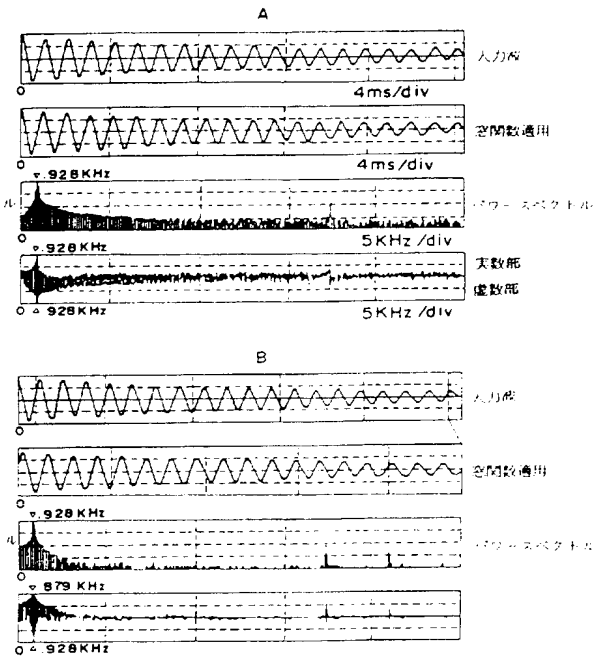
第 8 図



第 9 図



第 10 図



THIS PAGE BLANK (USPTO)

This Page is Inserted by IIFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IIFW Image Problem Mailbox.

BLANK (USPTO)